

文章编号:1000-694X(2006)05-0780-06

# 上海春季沙尘与非沙尘天气大气颗粒物 粒度组成与矿物成分

师育新<sup>1,2</sup>, 戴雪荣<sup>2</sup>, 宋之光<sup>1</sup>, 俞立中<sup>3</sup>, 管章志<sup>2</sup>

(1. 中国科学院广州地球化学研究所 有机地球化学国家重点实验室, 广东 广州 510640; 2. 华东师范大学 地理系, 上海 200062; 3. 华东师范大学 河口海岸国家重点实验室, 上海 200062)

**摘 要:** 上海春季典型沙尘天气的湿降尘和非沙尘天气总悬浮颗粒物、自然降尘的粒度分析结果表明, 沙尘天气湿降尘几乎全部由 $<63\ \mu\text{m}$ 的颗粒组成(99.45%), 其中 $10\sim50\ \mu\text{m}$ 、 $5\sim10\ \mu\text{m}$ 和 $<5\ \mu\text{m}$ 的含量分别占49.02%、21.75%和27.14%, 平均粒径为 $13.57\ \mu\text{m}$ , 分选差。这一粒度特征与马兰黄土和下蜀黄土很相似。非沙尘天气总悬浮颗粒物的粒度分布范围和均值与湿降尘很接近, 自然降尘颗粒则明显较粗。矿物X—衍射物相及半定量分析结果表明, 上述三种大气颗粒物都由粘土矿物、石英、钾长石、斜长石、方解石、白云石、石膏、角闪石等组成, 所不同的是湿降尘中含有较多来自西北干旱半干旱区远源输入的矿物颗粒; 而非沙尘天气总悬浮颗粒物中石膏含量较高(达14.59%), 推测为溶解在大气中的气态污染物 $\text{SO}_2$ 与方解石作用形成的二次污染颗粒。

**关键词:** 大气颗粒物; 沙尘暴; 粒度分析; 矿物分析; 上海

**中图分类号:** X513

**文献标识码:** A

城市大气颗粒物及其物质组成是衡量城市空气质量的重要指标之一。大气中 $>2\ \mu\text{m}$ 的粉尘颗粒主要来源于地表沉积物和土壤的风蚀作用<sup>[1]</sup>。沙尘暴作为一种常见的灾害性天气, 对大气环境造成的污染早已引起国内外学术界的重视。春季是中国沙尘暴频发期<sup>[2]</sup>。由于冷锋过境, 源于蒙古或中国西北及内蒙古等地的沙尘可以沿西北路径输送到长江中下游地区, 造成浮尘天气, 从而使这些地区的空气质量下降。据统计, 中国每年越过秦岭抵达长江中下游地区的浮尘日数在5 d以上<sup>[3]</sup>。这些冷空气携带的沙尘当遇到暖湿气流时往往以“泥浆雨”形式随雨滴降落。目前国内关于沙尘暴对环境和生态的影响研究主要集中在西北和华北地区<sup>[4~9]</sup>, 而对远距离输送到长江下游地区的沙尘物质的研究相对较少。上海是国际大都市且本身具有特殊的城市气候, 在以“宜居城市”作为建设目标的今天, 其空气质量更是受到学术界和世人的广泛关注。为了了解沙尘暴天气过程对上海大气环境的影响, 本文从粒度组成和矿物成分两方面对上海沙尘天气大气颗粒物(“泥浆雨”降尘)、非沙尘天气大气总悬浮颗粒物和自然降尘做了对比分析。

## 1 样品采集

### 1.1 沙尘天气大气颗粒物

对近50 a来我国沙尘暴频数的研究表明, 20世纪60~70年代波动上升, 80~90年代明显减少, 但2000年和2001年又急剧增加<sup>[10]</sup>。本文正好采集到这两个年度的典型沙尘天气样品。1号样采于2000年3月28日; 2号样采于2001年3月7日。采样天气系统背景如下:

2000年3月26~27日, 受蒙古气旋、冷锋的影响, 内蒙古西部、甘肃河西地区、宁夏北部、陕西等地发生沙尘暴, 途径中心最大风速达 $21\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 最大风力8~9级。西北地区东部、华北、东北南部、黄淮、江淮出现了大范围的扬沙和浮尘。南京、上海也出现大风、浮尘天气, 27日夜间断降雨裹着浮尘降落。28日清晨, 上海市民发现大理石路面、房屋窗户玻璃上及露天停放的小轿车上都覆盖了一层褐黄色的泥浆。2001年3月4~6日, 同样受蒙古气旋、冷锋的影响, 南疆盆地、内蒙古、青海、甘肃河西地区等地发生强沙尘暴。途径中心最大风速达 $29\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,

收稿日期: 2005-12-15; 改回日期: 2006-02-02

基金项目: 国家自然科学基金(青年)基金项目(49201016); 地球科学部主任基金项目。

作者简介: 师育新(1963—), 女, 甘肃张掖市人, 副教授(在读博士), 主要从事沉积与环境研究。E-mail: yxshi@geo.ecnu.edu.cn

最大风力 5~7 级。大风挟带沙尘抵达上海,6 日夜  
间上海降了“泥浆雨”。

采样均在沙尘天气期间,采集“泥浆雨”降尘(下  
称湿降尘)。在室外离地面 1.5 m 高度放置大容量  
塑料集尘器,以尽可能多地收集泥浆雨,将收集到的  
物质清洗下来低温烘干备用。

1.2 非沙尘天气悬浮颗粒物和自然降尘样

大气总悬浮颗粒物和自然降尘采集地点在华东  
师范大学自然地理楼六楼平台上,距地面约 18 m。  
周围无大型工厂和锅炉。1 号样采集时间为 2005  
年 4 月 17 日至 19 日;2 号样采集时间为 2005 年 4 月  
19 日至 22 日;每个样连续采集 72 h。气象记录为晴  
或多云、无降水天气和明显沙尘天气。悬浮颗粒物用  
真空泵采集在直径为 40 mm 的玻璃纤维滤纸上。自然  
降尘的采集用直径 150 mm,高 250 mm 的玻璃容  
器,为了防止二次起尘被风吹走,在容器里放了少量  
去离子水。采样时间同上。对采集到的样品用去离  
子水冲洗到表面皿里,在低温(50℃)下烘干备用。

2 实验分析

粒度分析采用美国 Beckman Coulter 公司生产  
的 LS100Q 型激光粒度仪,测量范围 0.4~1 000  
μm,测量误差<1%。为了便于比较和研究,对粒度  
分析结果按<5 μm、5~10 μm、10~50 μm、>30  
μm、50~100 μm 和>100 μm 进行统计,并计算了  
平均值、中值、众数、分选系数( $\sigma_1$ )、偏度( $Sk$ )及  $Kd$

值(即 10~50 μm 颗粒含量与<5 μm 颗粒含量比  
值)。

矿物分析采用荷兰 Panalytical(原 Philips)公司  
生产的 X’Pert Pro MPD 型 X 射线衍射仪,TSP 样  
品直接将滤膜粘贴在载波片上分析,实验条件为  
CuK $\alpha$ ;50 kV,40 mA;扫描角度为 3°~70°。对鉴定  
出的矿物成分,用绝热法进行了半定量估算。

3 结果与讨论

3.1 粒度组成

粒度分析结果见表 1 和表 2。从中看出,两次  
典型沙尘天气湿降尘的粒度组成基本相同,以 10~  
50 μm 含量最高,为 49.02%;其次为<5 μm 和 5~  
10 μm,分别占 27.14%和 21.75%;小于 50 μm 的  
颗粒占 98%以上,其中 89.88%的颗粒小于 30 μm;  
>63μm 的颗粒仅占 0.4~0.7%(平均 0.55%);几  
乎不含大于 100 μm 的颗粒;平均粒径为 13.57 μm;  
中值为 10.29 μm;分选系数  $\sigma_1$  为 1.59,分选差;偏  
度  $Sk$  为 0.24,为正偏;粉粘比  $Kd$  值为 1.59。这一  
粒度特征与典型风尘沉积——洛川马兰黄土基本一  
致<sup>[3]</sup>,只是分选性较之后者要好,反映经历了较长距  
离的搬运。此外,也与下蜀黄土的粒度组成很相似。  
下蜀黄土广泛分布于长江中下游地区,其成因历来  
有水成和风成之争,较多的研究支持其风成成因并  
且认为其物源区与北方典型黄土相同<sup>[11~13]</sup>。这里  
为其风成成因提供了又一佐证。

表 1 上海春季三种类型大气颗粒物粒度组成及其与风尘沉积的比较

Tab. 1 Particle size characteristics of three different types of atmospheric particles collected  
in the spring of Shanghai comparing with the colian deposits

样品类型	粒度组成/%					粒度参数					
	<5μm	5~10μm	10~50μm	50~100μm	>100μm	均值/μm	中值/μm	众数/μm	$\sigma_1$	偏度	$Kd$ 值
湿降尘 1	28.13	19.45	50.23	2.20	0.00	14.54	10.79	18.00	1.67	0.22	1.79
湿降尘 2	26.15	24.05	47.80	1.28	0.02	12.63	9.78	13.61	1.50	0.25	1.78
平均	27.14	21.75	49.02	1.74	0.01	13.57	10.29	15.81	1.59	0.24	1.79
TSP1	42.9	17.5	35.1	4.49	0.01	13.01	6.65	18.00	1.98	0.07	0.82
TSP2	33.3	18.7	43.9	4.1	0.00	14.51	9.34	16.40	1.81	0.17	1.32
平均	38.1	18.1	39.5	4.3	0.00	13.76	8.00	17.20	1.90	0.12	1.07
自然降尘	17.3	10.8	47.6	14.2	10.1	40.89	22.9	37.96	2.07	0.19	2.75
马兰黄土	30.65	12.03	50.1	5.65	1.33	12.2	11.7	—	2.96	—	1.63
下蜀黄土	30.11	13.8	47.87	7.23	0.99	19.84	13.2	—	2.108	0.324	1.61

非沙尘天气悬浮颗粒物以 10~50  $\mu\text{m}$  和 <5  $\mu\text{m}$  粒级的含量最高,占 39.5%和 38.1%;其次为 5~10  $\mu\text{m}$ ,占 18.1%。<50  $\mu\text{m}$  的颗粒占 95.7%,>63  $\mu\text{m}$  的颗粒占 1.5%。平粒粒径为 13.76,中值为 8  $\mu\text{m}$ ;  $\sigma_1$  为 1.9,分选比湿降尘差;  $Sk$  为 0.12,接近对称的正偏;  $Kd$  值为 1.07。

表 2 上海春季沙尘与非沙尘天气大气颗粒物部分组分的百分含量比较

Tab. 2 Percentage of some parts of the atmospheric particles collected in the spring of Shanghai				
粒径范围	<10 $\mu\text{m}$	<20 $\mu\text{m}$	<30 $\mu\text{m}$	>63 $\mu\text{m}$
沙尘天气湿降尘/%	49.24	77.34	89.89	0.55
非沙尘天气 TSP/%	56.2	76.4	86.45	1.5
非沙尘天气自然降尘/%	28.1	45.8	58.6	18.1
非沙尘天气平均/%	42.15	61.1	72.53	9.8

自然降尘以 10~50  $\mu\text{m}$  为主,占 47.6%,其次是 <5  $\mu\text{m}$  和 5~10  $\mu\text{m}$ ,各占 17.3%和 10.8%;平均粒径达 40.89  $\mu\text{m}$ ,中值为 22.9  $\mu\text{m}$ , >30  $\mu\text{m}$  的颗粒含量达 30.5%, >63  $\mu\text{m}$  占 18.1%,还含有 10.1%的 >100  $\mu\text{m}$  的颗粒;总体上明显比上述两种颗粒物粗。 $\sigma_1$  为 2.07,分选性比 TSP 和湿降尘都差;  $Kd$  值 2.75。

由于沙尘天气湿降尘是由降雨淋洗下来的,实际上包括悬浮颗粒物和自然降尘两部分。因此将非沙尘天气时收集到的悬浮颗粒物和同时段自然降尘的粒度组成作了平均,以便进一步比较沙尘天气与非沙尘天气降尘颗粒粒度分布的异同(见表 2)。

Pye K 对地球表面风扬粉尘分散的研究表明<sup>[1]</sup>,在中性大气里中等风暴时,20  $\mu\text{m}$  的颗粒不大可能迁移到离源区约 30 km 以远,而 <10  $\mu\text{m}$  的颗粒则可能被搬运到数千公里之遥。当地表附近的温度梯度非常接近零(0~0.01  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$ )时,就存在这样的条件。但是如果气温随高度迅速降低,大气就被称之为“不稳定的”,在这种情况下,因为被紊流推挤向上的气团比周围大气较热、较轻,更漂浮而继续上升。在不稳定大气条件下,如果有强烈对流作用,粉尘可被升高到比中性条件下更高的位置,分散到更广的区域,当粉尘被卷入某一急流时更是如此。在极端风暴条件下,20~30  $\mu\text{m}$  的颗粒被搬运的距离可达 3 000 km。由表 2 看出,沙尘天气大气颗粒物中 <10  $\mu\text{m}$  的颗粒含量虽然大于非沙尘天气,但差别不大;而小于 20  $\mu\text{m}$  和 30  $\mu\text{m}$  的颗粒含量却明  
万方数据

显高于非沙尘天气。据沙尘天气气候背景资料<sup>[14,15]</sup>,2000 年和 2001 年春季,我国北方大部分地区降水持续偏少,气温都较常年同期偏高。太阳辐射使地表温度较高,形成了“不稳定的”大气条件;而且在较强的东亚大陆经向环流的作用下,我国上空维持着一支强劲的西北气流。本文研究的两次沙尘天气的影响系统均为蒙古气旋和冷锋,在冷锋和温带气旋的作用下,产生大风和强烈的上升气流,将大量的沙尘物质带入高空,被高空强的西北气流(西风急流)自北向南,自西向东输送到长江中下游甚至更远的地方。刘东生等<sup>[3]</sup>对这种高空急流对粉尘的长程搬运过程早有认识:1980 年 4 月 17 日由于蒙古低压生成与加深,气旋逐渐形成,在河西走廊和内蒙古发生巨大的沙尘暴,风速达 12~20  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;4 月 18 日气旋锢囚,沙尘被卷入 7 000~7 500 m 的高空,由于西风急流速度极大,沙尘在 10 h 内由源区带到 1 500 km 外的华北平原;4 月 19 日气旋逐渐东移,沙尘物质被带到淮河和长江中下游地区。据卫星云图分析,当时沙尘分布高度在河北、山西海拔达 6 000 m,而在长江中下游达 3 000~3 500 m。当时在北京收集到的降尘颗粒的分析显示,粉砂(10~50  $\mu\text{m}$ )比细粉砂(5~10  $\mu\text{m}$ )多,和马兰黄土基本一致。因此,我们收集到的这两次湿降尘中,10  $\mu\text{m}$  甚至 20  $\mu\text{m}$  以上的颗粒从内陆干旱区搬运过来也是可能的。

由表 1 和表 2 看出,沙尘天气湿降尘与非沙尘天气悬浮颗粒物的粒径分布范围基本相同,平均粒径也很接近。均以 <50  $\mu\text{m}$  的颗粒为主(占 95%以上),其中又以 <30  $\mu\text{m}$  的颗粒占绝大多数。不过沙尘天气湿降尘含有更多 5~50  $\mu\text{m}$  粒级的颗粒,而非沙尘天气的悬浮颗粒物则含有更多 <5  $\mu\text{m}$  级的颗粒。由于在大风的作用下长距离输送,沙尘天气湿降尘的分选性较非沙尘天气悬浮颗粒物好。而自然降尘的粒度明显偏粗。这一结果表明,由高空从沙尘暴源区传输几千米到达上海上空的浮尘如果没有降雨的淋洗,其中的细粒部分可以较长时期悬浮在大气中,影响上海的空气质量。据上海市环境监测资料记载,在 2000 年 3 月 24~27 日和 2001 年 3 月 3~7 日期间,本市测得的污染指数均在 100 以上,空气质量由沙尘天气前的 I~III 级降至较差的 III~IV 级,气象和环保专家一致认为主要是西北气流带来的大量沙尘所致。

3.2 矿物成分

由 XRD 图谱鉴定出上海大气颗粒物中的主要

矿物成分有：石英、钾长石、斜长石、方解石、白云石、粘土矿物、石膏、角闪石等(图 1)。沙尘天气湿降尘和非沙尘天气自然降尘中还有极少量的黄铁矿和菱铁矿。依据各矿物特征衍射峰强度所做的半定量估算结果显示(表 3)：湿降尘中主要矿物以石英含量最高，占 44.65%；其次为长石、粘土矿物和碳酸盐，

分别占 19.74%、18.53%、15.41%。非沙尘天气的悬浮颗粒物则以粘土矿物和石英含量最高，占 26.84%和 24.92%；长石、石膏和碳酸盐次之，分别占 21.27%、14.51%和 12.25%。自然降尘以石英含量最高，达 50.48%，其次为长石、碳酸盐和粘土矿物，分别占 18.26%、17.46%和 13.38%。

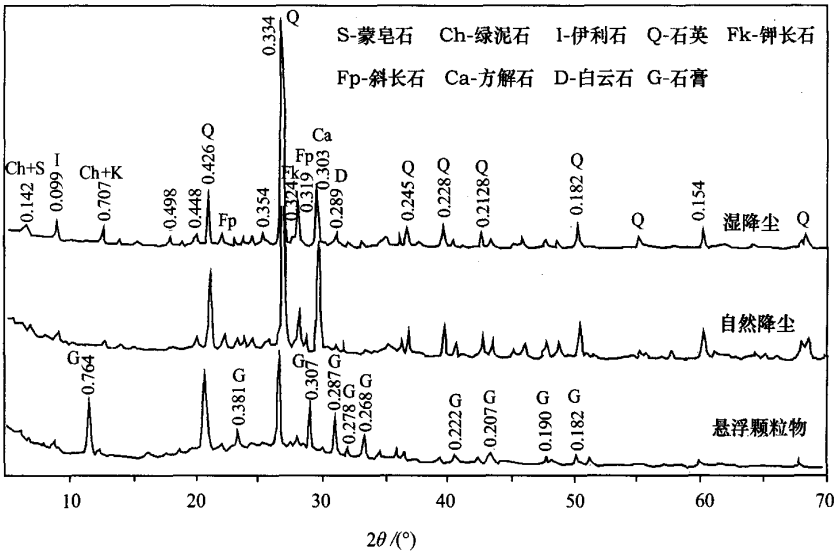


图 1 上海春季三种类型大气颗粒物 X-衍射图谱

Fig. 1 X-ray diffraction patterns of three different types of atmospheric particles collected in the spring of Shanghai

表 3 上海春季三种类型大气颗粒物的矿物成分(%)

Tab. 3 Minerals components of three different types of atmospheric particles collected in the spring of Shanghai (%)										
样品类型	石 英	钾长石	斜长石	方解石	白云石	石 膏	角闪石	粘土矿物	黄铁矿	菱铁矿
湿降尘 1	42.06	3.23	16.75	14.91	4.58	—	—	18.46	—	—
湿降尘 2	47.23	3.28	16.42	9.13	2.20	2.54	0.6	18.6	+	+
平 均	44.65	3.25	16.59	12.02	3.39	1.27	0.3	18.53	—	+
TSP1	23.26	8.56	11.63	4.24	4.25	20.72	1.45	25.79	—	—
TSP2	26.48	6.94	14.39	12.27	3.73	8.29	—	27.89	—	—
平 均	24.92	7.75	13.01	8.26	3.99	14.51	0.73	26.84	—	—
自然降尘 1	44.07	3.41	13.05	21.74	1.94	0.69	—	15.1	—	—
自然降尘 2	56.88	5.40	14.64	7.48	3.76	—	—	11.85	+	+
平 均	50.48	4.41	13.85	14.61	2.85	0.345	—	13.38	+	—

由图 1 和表 3 看出，石英、长石、碳酸盐(方解石和白云石)、粘土矿物是上海大气颗粒物的主要成分，在所有分析样品中都存在，其总含量均超过 77%。大气中矿物颗粒的来源主要有地表(土壤和地面沉积物等)风蚀、火山喷发、工业粉尘、海盐粉粒和气体转化的微粒等。其中土壤和地表沉积物的风蚀粉尘是大气颗粒物中矿物成分的主要来源。石英、长石是地表岩石和土壤的基本矿物成分，粘土矿物也广泛分布于地表细粒风化产物和土壤中。因此上海大气颗粒物中的石英、长石和粘土矿物应该主 万方数据

要来自土壤和地表的扬尘，属于一次颗粒物。与非沙尘天气大气颗粒物相比，沙尘天气湿降尘的长石矿物以斜长石含量较高，钾长石含量较低为特征，斜长石与钾长石之比为 5.1(而前者为 2.41)。由于斜长石抗风化能力比钾长石弱，说明沙尘天气颗粒物中的矿物经历了较弱的风化作用。对湿降尘<2μm 部分所做的分析表明粘土矿物以伊利石(68%)和绿泥石(18%)为主，高岭石(11%)次之，含蒙皂石(3%)；与兰州尘暴沉积物及兰州黄土的粘土矿物特征非常相近而与上海地区粘土矿物成

分有较大不同<sup>[16,17]</sup>。这些特征都反映湿降尘中含有较多来源于西北干旱和偏碱性环境的物质。这与气象资料记录的2000年3月和2001年3月两次沙尘天气过程强沙尘暴发生地区和路径是吻合的。

由图1及表3看出,非沙尘天气悬浮颗粒物中含有大量石膏( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ),在X衍射图谱上显示0.764 nm、0.381 nm、0.307 nm、0.287 nm、0.268 nm等一系列清晰的晶面反射峰,且强度较大。天然石膏主要产于盐沼及老蒸发盐地区,但在2000年和2001年两次典型沙尘天气湿降尘中石膏含量都较低,在上海及郊区的土壤中也很少有石膏,表明上海大气颗粒物中的石膏主要不是来自远距离输入和地面扬尘。值得注意的是,在非沙尘天气时与悬浮颗粒物同一时间段内所采的自然降尘(颗粒较粗)中石膏含量却很低。这一结果表明石膏是以细颗粒形式存在的。已有的研究表明,大气中的 $\text{SO}_2$ 很容易与固体颗粒物发生反应生成硫酸盐粒子,而且其颗粒比较细,其粒径属于积聚模( $0.05 \mu\text{m} < D_p < 1 \mu\text{m}$ )<sup>[18]</sup>。因此推测非沙尘天气悬浮颗粒物中的石膏是由溶解在大气中的气态污染物 $\text{SO}_2$ 与方解石作用形成的二次颗粒物。其他学者对北京、合肥和重庆大气颗粒物的研究也有相似的结论<sup>[19~21]</sup>。作为全国最大的工业城市,上海90%的电力依靠燃煤发电。而大气中90%的二氧化硫都是因煤燃烧不充分而排出的污染物。近年来,上海积极推进产业结构和能源结构的调整,控制 $\text{SO}_2$ 的排放,城市的大气环境质量不断得到改善。但是从颗粒物矿物成分来看,上海大气中还存在一定数量的 $\text{SO}_2$ 污染。

## 4 结论

(1) 典型沙尘天气湿降尘几乎全部由小于 $63 \mu\text{m}$ 的颗粒组成(99.45%),其中以 $10 \sim 50 \mu\text{m}$ 含量最高(49.02%), $< 5 \mu\text{m}$ (27.14%)和 $5 \sim 10 \mu\text{m}$ (21.75%)次之,三者之和占到97.41%;平均粒径为 $13.57 \mu\text{m}$ ,中值为 $10.29 \mu\text{m}$ 。这一粒度分布特征与典型风成沉积—黄土基本一致。与非沙尘天气大气颗粒物对比表明,湿降尘的粒度组成与悬浮颗粒物比较相似, $< 30 \mu\text{m}$ 的颗粒含量较高;而自然降尘明显较粗。所以,春季由西北路径经高空远距离输送到上海的大气粉尘,如果没有降雨的淋洗,可较长时间悬浮在大气中,使上海的空气质量下降。

(2) 上海大气颗粒物中的矿物成分有:粘土矿物、石英、钾长石、斜长石、方解石、白云石、石膏、角

闪石等。沙尘天气湿降尘中斜长石含量较高,粘土矿物为伊利石-绿泥石-高岭石-蒙脱石型,反映含有较多来自西北干旱半干旱区远源输入的颗粒物,而非沙尘天气的悬浮颗粒物中石膏( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )含量较高(达14.59%),表明存在强烈的大气化学反应。反映目前上海大气中存在一定数量的 $\text{SO}_2$ 污染,需进一步加强 $\text{SO}_2$ 排放的治理。

(3) 石膏在非沙尘天气悬浮颗粒物中含量较高,而在沙尘天气湿降尘中很少。这一现象表明,由沙尘暴天气远距离输送来的大气粉尘,一方面使上海的大气颗粒物浓度增高,空气质量下降;另一方面对大气颗粒物中的有害物质可能有一定稀释、中和作用。

## 参考文献(References):

- [1] 肯尼思·派伊 著(台益和,张选阳 译). 风扬粉尘及粉尘堆积物[M]. 北京:海洋出版社,1991. 1-34.
- [2] 王式功,董光荣,陈惠忠,等. 沙尘暴研究的进展[J]. 中国沙漠,2000,20(4):349-356.
- [3] 刘东生. 黄土与环境[M]. 北京:科学出版社,1985. 191-316.
- [4] 戴雪荣,师育新,薛滨. 兰州现代特大沙尘暴沉积物粒度特征及其意义[J]. 兰州大学学报(自),1995,31(4):168-174.
- [5] 戴雪荣,李吉均,俞立中,等. 末次间冰期甘肃沙尘暴演化历史的黄土记录分析[J]. 地理学报,1999,54(5):445-453.
- [6] 王式功,杨民,祁斌,等. 甘肃河西沙尘暴对兰州市空气污染的影响[J]. 中国沙漠,1999,19(4):354-358.
- [7] 庄国顺,郭敬华,袁慧,等. 2000年我国沙尘暴的组成、来源、粒径分布及其对全球环境的影响[J]. 科学通报,2001,46(3):191-197.
- [8] 杨前进. 沙尘暴沉降物的粒度特征及其环境意义[J]. 中国沙漠,2004,24(1):47-50.
- [9] 王赞红. 现代沙尘暴降尘与非沙尘降尘的粒度特征[J]. 地理学报,2003,58(4):605-610.
- [10] 钱正安,安敏红,李万元. 近50年来中国北方沙尘暴的分布及变化趋势分析[J]. 中国沙漠,2002,22(2):106-111.
- [11] 杨达源. 中国东部的第四纪风尘堆积与季风变迁[J]. 第四纪研究,1991,(4):354-360.
- [12] 李徐生,杨达源,鹿化煜. 镇江下蜀黄土粒度特征及其成因初探[J]. 海洋地质与第四纪地质,2005,25(1):25-31.
- [13] 郑祥民. 长江三角洲及海域风尘沉积与环境[M]. 上海:华东师范大学出版社,1999.
- [14] 张小玲,李青春,谢璞,等. 近年来北京沙尘天气特征及成因分析[J]. 中国沙漠,2005,25(3):417-421.
- [15] 矫海燕 主编. 沙尘天气年鉴[M]. 北京:气象出版社,2004.
- [16] 师育新,戴雪荣,李节通,等. 末次间冰期兰州黄土中的粘土矿物与古气候意义[J]. 海洋地质与第四纪地质,1997,17(1):87-94.
- [17] 侯传庆 主编. 上海土壤[M]. 上海:上海科学技术出版社,1992. 240-250.

- [18] 戴树桂 主编. 环境化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1997. 76.
- [19] 吕森林, 邵龙义, 吴明红, 等. 北京城区可吸入颗粒物(PM<sub>10</sub>)的矿物学研究[J]. 中国环境科学, 2005, 25(2): 129–132.
- [20] 陈天虎, 冯军会, 张宇, 等. 合肥市大气颗粒物组成及其环境指示意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2001, 20(2): 433–436.
- [21] 陈昌国, 詹忻, 李纳, 等. 重庆市区大气颗粒物的物相组成分析[J]. 环境化学, 2002, 21(3): 207–208.

## Particle Size Distribution and Mineral Components of Atmospheric Particles Collected in Spring of Shanghai

SHI Yu-xin<sup>1,2</sup>, DAI Xue-rong<sup>2</sup>, SONG Zhi-guang<sup>1</sup>, YU Li-zhong<sup>3</sup>, GUAN Zhang-zhi<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 2. Department of Geography, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 3. State Key Laboratory of Estuary and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

**Abstract:** By using Laser Particle Size Analyzer and XRD systems, this paper discusses the characteristics of particle size distribution and mineral components of three different types of atmospheric particles collected in the spring of Shanghai. They are the rain-born dust (RBD) as the dust-storm happening in northwest China, the total suspended particles (TSP) and the normal air-born dust (ABD). The particle size data show that over 99.45% of RBD is less than 60  $\mu\text{m}$  (13.57  $\mu\text{m}$  in average) and the <30  $\mu\text{m}$  part takes the majority with a bad sorting degree. The content of coarse silt, fine silt and clay are 49.02%, 21.75% and 27.14% respectively. Such a particle size distribution is much similar to that of Malan loess (in North China) and Xiashu loess (in lower Yangtze River) formed in Late Pleistocene, supporting that the Xiashu loess is of eo-line origin. The particle size distribution of RBD can also be compared to TSP, but both much finer than ABD. The X-ray diffraction analysis data show that all the samples can be identified as clay minerals, quartz, potash feldspar, plagioclase, calcite, dolomite, gypsum and amphibole etc. But there are still some differences between each other. The RBD contains relatively more mineral materials, indicating that it derived from the northwest arid and semiarid areas in China. The content of gypsum in TSP reaches up to 14.59%, which can be considered as the secondly polluted particulates formed by the SO<sub>2</sub> gas in the air meeting together with calcite. The gypsum in TSP, therefore, can be used as an indicator of SO<sub>2</sub> pollutant in the atmospheric environment of Shanghai.

**Key words:** atmospheric particles; dust-storm; particle size analysis; mineral analysis; Shanghai